



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



RUNE BERGSTRÖM  
ÖSTEN EKENGREN

# Konvertering av oljebergtrum till energilagrar

R37: 1993

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129277



BYGGFORSKNINGSRÅDET

R37:1993

KONVERTERING AV OLJEBERGRUM TILL ENERGILAGER

Rune Bergström  
Östen Ekengren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
900608-6 från Byggforskningsrådet till  
Institutet för vatten- och luftvårdsforskning  
(IVL), Stockholm.

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD  
BIBLIOTEKET

## REFERAT

Inför konverteringen av oljeberggrum till energilagrar förutsågs några problemområden. För att få ett bättre underlag för bedömningen av genomförbarheten undersöktes dessa genom försök i laboratorieskala. I projektet ingick också att följa upp konverteringen och driften av energilagret. Driftstekniskt har energilagret fungerat väl, även om nyttjandegraden hitintills varit låg. Ett kvarstående problem är att koncentrationen av salter/joner i berggrumsvattnet har ökat p g a att installerat avhärdningsfilter har varit otillräckligt. Detta innebär en risk för att inkrusterbildning/beläggning av värmeväxlarytorna kan komma att uppstå. Energibalansberäkningar för 1991 och 1992 visar att det årligen har laddats in 6.4 respektive 8.0 GWh. Av denna energimängd har 1.3 respektive 8.0 GWh. Av denna energimängd har 1.3 respektive 1.7 GWh urladdats d v s ca 20 % har återförts till fjärrvärmenätet. Differensen där emellan är energiförluster. Dessa beror huvudsakligen på konvenktiva förluster orsakade av utläckage och värmeledning via berggrumsväggarna. För närvarande svarar energilagret för ca 2 % av den prligen levererade energimängden till Oxelösunds fjärrvärmenät.

I Bygghforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R37:1993

ISBN 91-540-5576-8  
Bygghforskningsrådet, Stockholm

gotab 98508, Stockholm 1993

## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
1. Bakgrund .....	4
2. Projektbeskrivning.....	4
3. Beskrivning av konverteringen.....	5
4. Laboratorieförsök - fas A.....	6
4.1 A1 insamling av prov .....	6
4.2 A3 Jonutlakning .....	6
4.3 A4 Modellförsök oljebergrum .....	6
4.4 A5 Oljeavsugning .....	8
4.5 A6 Värmeväxlarförsök i testrigg.....	8
4.6 Syrehalt i lagringsvattnet .....	9
4.8 Oljeanrikning i täthetsgradienter .....	10
5. Fas B Uppföljning av idrifttagandet .....	10
5.1 B1 Studium av beläggning på värmeväxlarytorna .....	11
5.1.1 Bakgrund .....	11
5.1.2 Utförande.....	11
5.2. B2 uppföljning av lagringsvattnets kvalitet.....	15
5.2.1 Analys av olja .....	15
5.2.2 Analys av salter i bergrumsvattnet.....	16
5.2.3 Reduktion av saltuppbbyggnad i lagringsvattnet.....	18
5.3 B3 Värmeförluster .....	23
6. Driftserfarenheter.....	26
7. Referenser.....	27
Bilaga 1. Analyser av bergrumsvatten.....	28



## Sammanfattning

SSAB i Oxelösund levererar energi till Oxelösunds fjärrvärmenät. Periodvis finns det överskott av energi från Stålverket. För att kunna tillvarata energiöverskottet har ett intill liggande outnyttjat oljebergtrum konverterats till energilager. Bergtrummet fylldes med 180 000 m<sup>3</sup> vatten. Plattvärmväxlare installerades för överföring av energi från fjärrvärmenätet till bergtrumsvattnet. Vid behov kan energi sedan återföras från bergtrummet till fjärrvärmenätet.

Projekteringen av konverteringen inleddes 1986. Samtidigt fick IVL i uppdrag att inför konverteringen försöka klargöra frågeställningar genom försök i laboratorieskala samt att efter konverteringen följa upp och utvärdera idrifttagandet.

En "ekonomisk" förutsättning var att oljebergtrummet ej skulle behöva rengöras från olja innan konverteringen till hetvattenlager. För att belysa händelseförloppet hur botten- och ytolja skulle fördelas vid olika temperaturförhållanden gjordes försök i modellbergtrum i laboratorieskala. Försöken visade på låga restoljehalter i vattnet. Vid försök med plattvärmväxlare i pilotskala med oljehaltigt vatten kunde ej någon nämnvärd försämring av värmeöverföringen noteras, vilket annars hade befarats genom att värmväxlarytorna skulle kunna bli belagda. I laboratorieskala undersöktes också jonutlakning ur bergtrumsmaterialet och möjligheterna att avlägsna ytolja.

Påfyllning av sötvatten och inladdning av energi påbörjades 1988. I oktober var volymen 185 000 m<sup>3</sup> och medeltemperaturen 70°C. Under 1989 fortsatte inladdningen av energi för att öka medeltemperaturen ytterligare. Under 1990 påbörjades urladdningen av energi från energilagret. Värmväxlarnas prestanda har fortlöpande följts upp. Någon nämnvärd försämring för perioden 1989-1992 har ej noterats. De har därför ej behövt rengöras som annars hade befarats.

Bergtrumsvattnets kvalitet har också följts upp fortlöpande genom analyser av vattenprover uttagna från olika nivåer ca en gång per månad. Halterna av joner/salter har ökat påtagligt på höga halter i inläckande vatten. Inläckaget har beräknats till 2-2,5 m<sup>3</sup>/h. För att balansera tillförseln av joner som ger upphov till hårdhet i vattnet installerades ett avhärdningsfilter. Kapaciteten för filtret har varit låg, möjligen till viss del orsakat av beläggning av olja på jonbytarmassan. Bergtrumsvattnets hårdhet har därför ökat kontinuerligt. Risken finns att man når den punkt vid vilken i första hand kalcium kan komma att förorsaka utfällningar/inkrusterbildning på värmväxlarytorna.

Energibalansberäkningar för 1991 och 1992 visar att det årligen har laddats in 6,4 respektive 8,0 GWh. Av denna energimängd har 1,3 respektive 1,7 GWh urladdats d v s ca 20 % har återförts till fjärrvärmenätet. Differensen där emellan är energiförluster. Dessa beror huvudsakligen på konvektiva förluster orsakade av utläckage och värme-



ledning via bergrumsväggarna. För närvarande svarar energilagret för ca 2 % av den årligen levererade energimängden till Oxelösunds fjärrvärmenät.

## 1. Bakgrund

I Oxelösund finns ett oljelager bestående av sju bergrum med en sammanlagd volym av 1 miljon m<sup>3</sup>. Under mitten av 1980-talet utnyttjades inte hela lagringskapaciteten längre. VD för huvudägaren Oxelösundslager AB (OLAB) Halvard Gedung sökte därför efter en alternativ användning. Ett förslag väcktes då att istället utnyttja ett bergrum för lagring av överskottsenergi. Ett förslag till konvertering av oljebergrum till värmelager utarbetades av Margen Consult AB. Idén var att friställa och fylla det största bergrummet på 200 000 m<sup>3</sup> med vatten. I närheten till bergrummet finns ett stålverk, SSAB Oxelösund. Detta levererar energin till Oxelösunds fjärrvärmenät. Periodvis finns överskott av energi som då skulle kunna lagras in i vattnet för att sedan kunna tas ut vid behov och återföras in på fjärrvärmenätet.

Det kan också ur miljösynpunkt medföra problem att tömma och låta ett bergrum stå outnyttjat. Bergrummet kommer på sikt att vattenfyllas och det kan då finnas risk för oljeläckage till grundvattnet.

## 2. Projektbeskrivning

Förslaget till konvertering bedömdes som både tekniskt och ekonomiskt genomförbart. En projektgrupp bildades bestående av ägarna för oljebergrummen OLAB och Oxelösunds Hamn AB, energiproducenten SSAB och huvudvärmeavvärmaren Oxelösunds kommun. Det beslöts att genomföra projektet. Upphandlingen gjordes under 1987, och under 1988 var konverteringen i huvudsak klar. Värmelagret ägs och drivs av dessa företag gemensamt. Skanska var huvudleverantör.

Parallellt med projekteringen under 1986 fick IVL i uppdrag att undersöka frågeställningar i och med konverteringen av oljebergrummet samt att därefter följa upp idrifttagandet. Projektet delades upp i två faser. Fas A där frågeställningarna inför konverteringen försökte besvaras genom experiment i laboratorieskala. Fas B där uppföljningen av konverteringen gjordes genom försök och mätningar vid bergrummet efter idrifttagandet.

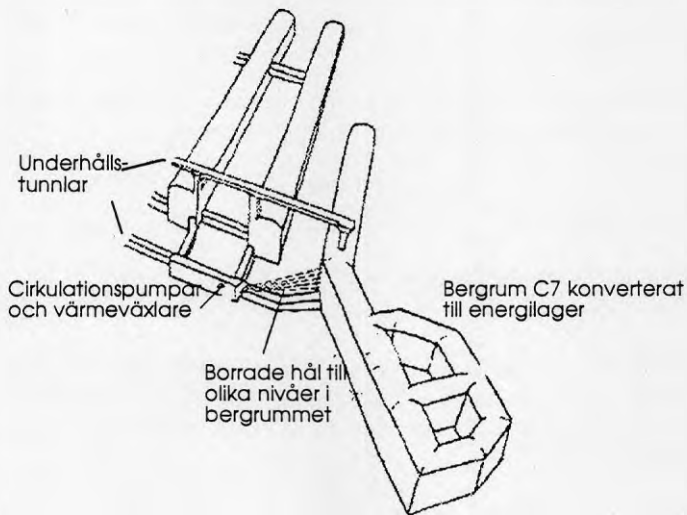
Undersökningen finansierades av Statens Energiverk. 1990 överfördes projektet till Byggforskningsrådet.

Arbetet under fas A avrapporterades till Statens Energiverk under 1988. I denna rapport ges därför endast en kort sammanfattning av erhållna resultat under fas A.



### 3. Beskrivning av konverteringen

Oljebergtrum C7 har volymen 200 000 m<sup>3</sup>, figur 1. Det är beläget längst ut i en rad om sammanlagt 7 st bergtrum. Värmeväxlarna för varmhållning av oljan i bergtrummen är placerade i ett gemensamt utrymme/tunnel i nivå med den undre delen av bergtrummen. Från detta utrymme borraras 6 st hål in till bergtrum C7 som mynnade ut på nivåerna 0, 4,1 m, 8,4m, 16,5 m, 18,5 m och 21,5 m. Borrhålen fordrades med ingjutna titanrör på en sträcka av 10 m från pumprummet. Detta möjliggör att leda in och ta ut vatten på olika nivåer beroende av temperaturförhållanden. Den befintliga ledningen från fjärrvärmenätet som tidigare enbart nyttjats för varmhållning av oljebergtrummen skulle nu också nyttjas för inladdning av energi från SSAB och urladdning av energi från energilagret.



Figur 1. Oljebergtrum

För värmeöverföring mellan fjärrvärmevatten och bergtrumsvatten installerades en plattvärmeväxlare Alfa Laval A15-BFM med följande data:

Material i plattor:	Titan
Material i packningar:	Nitrilgummi (oljebeständig)
Tryckklass:	PN 16

Max temperatur i fjärrvärme:	+120°C
Flöde fjärrvärme:	300 m <sup>3</sup> /h
Flöde bergkrets:	300 m <sup>3</sup> /h
Temperatur i fjärrvärme:	90/55°C
Temperatur bergkrets:	60/95°C
Överförd effekt:	12 MW

## 4. Laboratorieförsök - fas A

En kort sammanfattning ges för undersökningen omfattande punkterna A1-A8. För respektive punkt ges målsättning, försöksutförande och resultat.

### 4.1 A1 insamling av prov

Förutsättningen för laboratorieförsöken var att representativa prov insamlades. Följande prover togs: sötvatten, brackvatten, ytolja, bottenolja och bergprov.

### 4.2 A3 Jonutlakning

Målsättningen var att försöka belysa utlakningsförloppet för olika joner ur berget till lagringsvattnet.

Jonutlakningsförsök utfördes under 4 veckor vid 50°C respektive 95°C. Glaskolvar fylldes med industrivatten från SSAB och bergprov. Prover på vattenfasen togs ut under försökets gång. Följande parametrar analyserades: natrium, kalium, kalcium, magnesium, kisel och aluminium.

Analyserna visade att jämviktsläget för jonutlakningen inträffade redan efter 8-12 timmar. Därefter var förändringarna av halterna mycket små. Förändringen av de ursprungliga halterna i industrivattnet var också mycket små.

### 4.3 A4 Modellförsök oljeberg

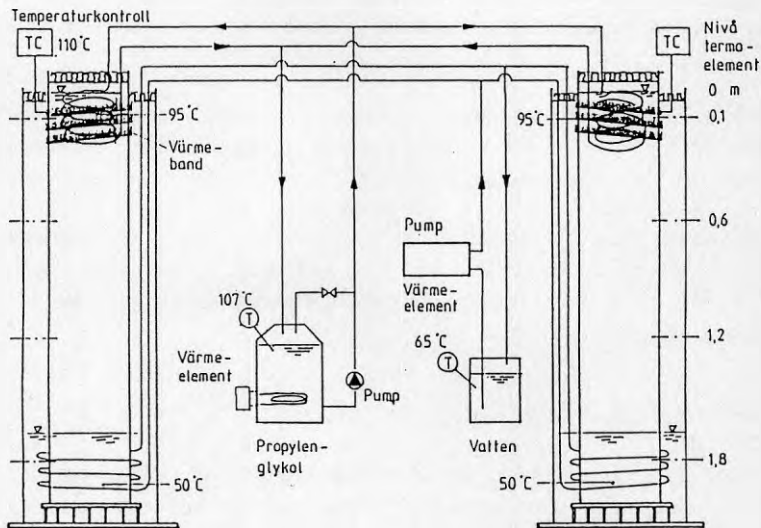
Försöket avsåg att i laboratorieskala försöka belysa händelseförloppet när ett oljeberg för tjockolja konverteras till hetvattenlager, utan en sanering av olja från bergrumsväggarna. Förutsättningarna var att värmelagrets övre del skulle hålla temperaturen 95°C och dess undre del 50°C. Följande frågeställningar, huvudsakligen kopplade till hur restoljan skulle uppföra sig, ställdes upp.

- kommer bottenoljan att flyta upp till ytan
- förångas de lättare oljefraktionerna p g a den höga temperaturen
- om så är fallet ökar då oljans densitet så att den sjunker
- utvecklas distinkta temperaturgradienter i vattenpelaren
- blir sjunkande oljepartiklar "hängande" i sådana temperaturgradienter
- hur mycket olja löser sig i vattnet.

Svaren på dessa frågor var av stor betydelse för utformningen av in- och urladdningskretsen, värmeväxlarfunktionen samt för huruvida en ytoljeavsugning skulle och kunde utföras.

Försöken utfördes i plexiglaskolonner  $\phi$  0,3 m, höjd 2,1 m, i vilka temperaturen kunde regleras och registreras på olika nivåer, figur 2.

#### A4 Modellförsök oljebergtrum



Figur 2. Försöksupställning

Kolonnen laddades med industrivatten respektive vatten från oljebergtrum 7. Oljeladdning utfördes genom att oljebemängda stenar sänktes ner i kolonnerna. Vid olika temperaturförhållanden studerades sedan gradienter och oljans fördelning.

Oljan fördelade sig så att en tung fraktion ansamlades på botten och en tunnare olja på ytan. Ytoljan förtjockades med tiden och efter 2 veckor var konsistensen asfaltlik.

Efterhand började enstaka oljeklumpar att sjunka. Efter 5-6 veckor återstod mycket lite olja på ytan. Ansamlingen av stigande eller sjunkande olja i temperaturgradienten observerades ej under försöksperioden.

Oljehalterna i vattenfaserna var efter 4 veckor 1,4 mg/l i sötvattenkolonnen och 2,1 mg/l i brackvattenkolonnen. En viss skillnad uppmättes men halterna bedömdes som låga.

#### **4.4 A5 Oljeavsugning**

Målsättningen var att undersöka möjligheterna att avlägsna olja från vattenytan i berggrummet.

Försöken avsågs ursprungligen att utföras från ytan i respektive kolonn. På grund av ytoljans snabba omvandling fick istället försöken utföras i separata kärl. Först prövades tekniken att suga upp ytoljan. Sedan tekniken att få oljan att vidhäfta på ett stålband, så kallad oljeskimmer. Försöken utfördes vid olika temperaturer mellan 20 och 100°C.

Tekniken att suga upp oljan fungerade mindre bra på grund av att framtransporten av omkringliggande olja på ytan var låg. Vid försöken med stålband erhöles en mycket god vidhäftning utom i temperaturintervallet 65-80°C.

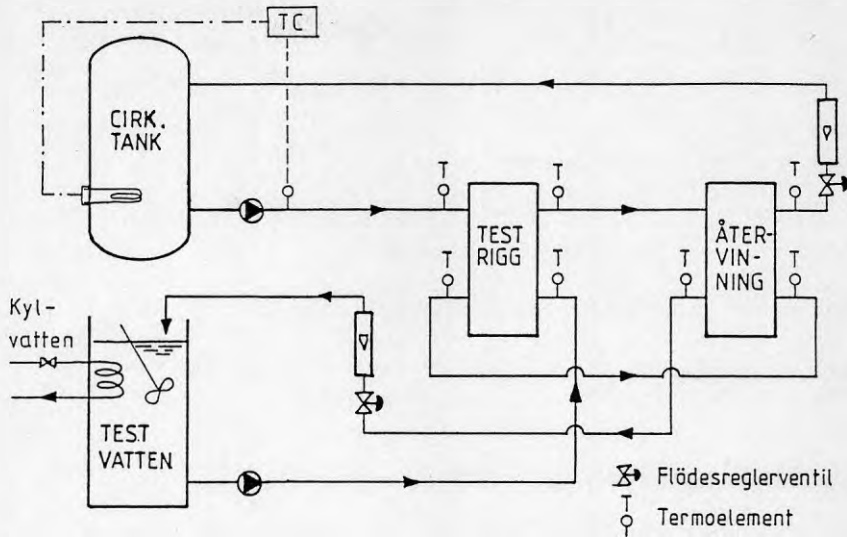
Att kunna avlägsna oljan från vattenytan i berggrummet bedömdes bli problematiskt i och med svårigheterna att komma åt att svepa över hela ytan. Problemet med ytolja bedömdes bara vara ett problem i inledningsskedet, eftersom ytoljan troligen skulle omvandlas och sjunka till botten.

#### **4.5 A6 Värmeväxlarförsök i testtrigg**

Avsikten med värmeväxlarförsöken var att studera hur oljehalten i vattnet påverkade värmeöverföringen vid in- och respektive urladdning, samt möjligheterna att rengöra plattvärmeväxlaren.

Försöksutrustningen bestod av en plattvärmeväxlare Alfa-Laval PO-VL med plattor av titan. Försöksupställningen visas i figur 3.

## A6 Värmeväxlarförsök i testrigg



Figur 3. Testrigg för urladdning av energi.

Försöken inleddes med intrimning under 10 dygn. Därefter doserades olja till testvattenet. Först tillsattes 25 mg/l eller ca 10 ggr den nivå som uppmättes vid kolonnförsöken. Halten i systemet blev dock betydligt lägre varför ytterligare olja tillsattes. Efter 7 dygn avbröts försöket och värmeväxlarna tvättades med varm sodalösning.

Utvärderingen av försöken gjordes genom beräkning och jämförelse av värmeöverföringsskoefficienterna. Endast en liten försämring kunde uppmätas och då endast vid urladdningen. Tvättförsök av belagda ytor visade att de enkelt kunde rengöras med dieselolja och alkaliska tvättmedel.

### 4.6 Syrehalt i lagringsvattnet

Vattnets innehåll av syre har avgörande betydelse för dess biologiska och kemiska reaktioner inklusive korrosionsfenomen samt för den biologiska oljenedbrytningens hastighet och dess slutprodukter.

Syreinnehållet i söt- och brackvattenkolonnerna på olika nivåer och temperaturer undersöktes efter 2 och 4 veckor.

Mätningarna visade på låga syrehalter i kolonnerna. I dess nedre kallare del uppmättes halter kring 0, 5 ppm. Halten var lägre högre upp, för att i dess övre varmaste del vara nära noll.

#### 4.8 Oljeanrikning i täthetsgradienter

Avsikten var att studera mikrobiella och kemiska reaktionsförlopp i oljeanrikningar om sådan uppstod i samband med täthetsgradienter i vattenpelaren.

Detta skulle studeras under försöken i kolonnerna i laboratorieskala.

Någon anrikning av olja observerades ej. Olja som steg från botten eller sjönk från ytan passerade genom vattenpelaren utan att bilda anrikningsskikt.

### 5. Fas B Uppföljning av idrifttagandet

På planeringsstadiet förutsågs en del faktorer/problem som skulle behöva följas upp efter idrifttagandet. Frågeställningarna indelades i tre huvudgrupper.

#### B1: Studium av beläggning på värmeväxlarytor.

Man befarade att restolja i vattnet skulle kunna belägga ytorna och därigenom minska dess effektivitet. Vidare skulle salter i vattnet kunna komma att ge upphov till utfällningar på värmeväxlarytorna (inkrusterbildning) vilket måste undvikas.

#### B2: Uppföljning av lagringsvattnet kvalitet

Det förutsågs att halterna av salter skulle komma att förändras i lagringsvattnet p g a jonutlakning ur berget och tillförsel av salter via inläckage till bergrummet. Prover skulle tas ut på olika nivåer i lagringsvattnet med jämna intervall för analys. Om halterna skulle komma att bli oacceptabelt höga skulle olika åtgärder för att minska dessa undersökas.

#### B3: Värmeförluster

En viktig faktor för att kunna beräkna ekonomin var att försöka beräkna värmeförlusten. Differensen mellan tillförd och uttagen energimängd i lagringsvattnet ger ett mått på värmeförlusterna. Om förlusterna huvudsakligen skulle bero på värmetransport via berget skulle förlusterna kunna komma att avta. Den del av värmeförlusterna som orsakas av utläckage skulle däremot hållas mer konstant.



Uppföljningsperioden för fas B var planerad att avslutas under 1989. Denna har dock förlängts på att nyttjandegraden för berggrummet varit lägre än beräknat och en rad driftsproblem har uppstått. Detta har också medfört att en del förändringar och kompletteringar i detaljplaneringen för uppföljningen har gjorts under projektiden.

## **5.1 B1 Studium av beläggning på värmeväxlarytorna**

### **5.1.1 Bakgrund**

Effekten för värmeväxlaren förväntades kunna avta i och med att värmeöverföringsytorna befarades att kunna bli belagda i första hand av olja. För att kunna konstatera om så var fallet och i så fall utprova lämplig rengöringsteknik, skulle värmeväxlare i laboratorieskala installeras i en shuntkrets till huvudvärmeväxlaren. Genom registrering av temperaturer och flöden på berggrumskretsen och fjärrvärmekretsen skulle värmeöverföringskoefficienten kunna beräknas. Om denna skulle komma att minska skulle orsaken till detta försöka konstateras. De små värmeväxlarna skulle lätt kunna demonteras och därigenom undersökas visuellt. Lämpliga rengöringsmedel skulle också kunna utprovas, och rengöringsintervall bestämmas.

Vid huvudvärmeväxlaren installerades temperturgivare (Pt 100) och flödesmätare (strykflänsar) på berggrumskretsen och fjärrvärmekretsen. Driftsdata över temperaturer och flöden för fjärrvärmevatten, värmväxlare för uppvärmning av oljelagren och värmeväxlare för energilagret i berggrummet kan avläsas i manöverrummet. De manuellt avlästa värdena journalförs i protokoll. Under inledningsperioden efter idrifttagandet av energilagret beräknades värmeväxlarens effekt vid ett par tillfällen. Mätvärdena uppvisade en relativt stor spridning och någon tendens till försämrade värmeöverföring kunde ej utläsas. Vi blev därför tveksamma till om laboratorievärmeväxlare skulle kunna ge svar på försmutsningsgraden eftersom den verkade vara låg. Dessutom finns det alltid en osäkerhetsfaktor vid uppskalning av försöksresultat. Vi beslöt därför inom projektgruppen att istället utvärdera försmutsningsgraden direkt på huvudvärmeväxlaren.

### **5.1.2 Utförande**

Beräkningar av värmeöverföringskoefficienter skulle göras både vid in- och urladdning av energi. Skulle denna tendera att försämrats skulle detta kunna tyda på en försmutsning. En försmutsning av värmeväxlarytorna skulle kunna kontrolleras visuellt utan att värmeväxlarna skulle behövt demonteras. Efter installationen dokumenterades den yttersta plattans utseende på video med hjälp av fiberoptik. Detta skulle i så fall kunna återupprepas. I första hand skulle värmeväxlarna rengöras utan demontering. Efter rengöring skulle värmeöverföringen mätas för att se effekten av rengöringen. Var den ej



återställd skulle värmeväxlaren demonteras med hjälp av personal från Zander & Ingeström. Lämpligt rengöringsmedel skulle kunna utprovas genom att man visuellt konstaterade att plattorna var rena. Efter denna rengöring skulle uppmätt värmeöverföring ge ett måttal för den maximal effekten.

Under perioden januari 1989 till november 1990 utvärderades värmeväxlarens prestanda vid ett 30-tal tillfällen genom manuell registrering en gång per timme under ca ett dygn. Medelvärden för temperaturer och flöden beräknades, varefter värmeöverföringskoefficienten bestämdes. Under denna tidsperiod gjordes endast 5 st urladdningar, februari - maj 1990. För att förbättra beräkningsunderlaget och samtidigt förenkla registrering installerades en datalogger under oktober 1990.

Exempel på beräkningar för två st representativa mätomgångar vid inladdning samt en mätomgång vid urladdning visas i tabell 1.

Tabell 1. Värmeöverföringsberäkningar för värmeväxlaren för 2 st utvärderingar vid inladdning samt en mätomgång vid urladdning.

		Inladdning Loggade data 901017	Inladdning Manuellt avläst 900928	Urladdning Manuellt avläst 900508
T1 temp. fjärrvärme in	°C	91,56	91,1	66,5
T2 temp. fjärrvärme ut	°C	75,72	79,6	82,4
T3 temp. bergrumsvatten in	°C	72,14	73,4	84,3
T4 temp. bergrumsvatten ut	°C	88,01	89,6	68,3
V <sub>1</sub> diff. varma sidan	°C	3,55	1,5	1,94
V <sub>2</sub> diff. varma sidan	°C	3,58	6,2	1,81
θ medeltemp. differans <sup>1)</sup>	°C	3,57	3,3	1,87
Flöde fjärrvärme	m <sup>3</sup> /h	147	177	248
Flöde bergrumsvatten	m <sup>3</sup> /h	153	134	248
Effekt fjärrvärme	MW	2,71	2,36	4,57
Effekt bergrumsvatten	MW	2,82	2,52	4,61
Värmeöverföringskoeff.	kW/m <sup>2</sup> °C	1,87	1,78	5,93
Värmeöverföring Pm/θ	MW/°C	0,77	0,73	2,98

$$1) \theta = \frac{V_1 - V_2}{\ln V_1/V_2}$$

Beräkningarna visar genomgående på en stor differens mellan in- och urladdning, vid jämförelse av värmeöverföringen MW/°C. Enligt garantin för värmeväxlaren ska effekten vara 12 MW vid medeltemperaturdifferensen 5°C för rena värmeväxlaren och flödet 300 m<sup>3</sup>/h (d v s 2,4 MW/°C). Vid urladdning uppnåddes detta värde. Vid inladdning var dock värdet betydligt lägre, 0,4-0,8 MW/°C.

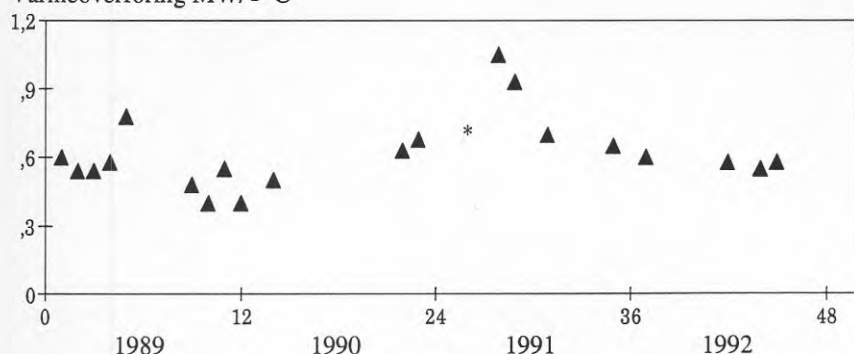
En förklaring till skillnaden skulle vara felvisande temperatur- och flödesgivare. Vid en jämförelse av tillförd och uttagen effekt överensstämmer dessa värden mycket bra, vilket talar emot ett mätfel. Peter Margen som är initierad i projektet fick också ta del av samtliga mätprotokoll och beräkningar. Han framlade därefter en möjlig förklaring till skillnaden. Vid laddning är bergrumsvattnet kallare än plåtarna i värmeväxlaren. Olja skulle därigenom kunna fällas ut och ge en beläggning på plåtarna. Detta medför att värmeöverföringskoefficienten försämrats. Vid urladdning däremot är bergrumsvattnet varmare än plåtarna. En oljebeläggning skulle då kunna lösas upp, och därigenom återge värmeväxlaren dess högre värmeöverföringskoefficienter.

Ett mätfel kan ändå vara förklaringen. Detta förutsätter då att båda temperaturgivarna på bergrumssidan visar lika mycket för lite. Om dessa temperaturer korrigeras uppåt blir medeltemperaturdifferensen lägre vid inladdning och högre vid urladdning. Detta medför att skillnaden mellan värmeöverföringskoefficienten vid in- och urladdning minskar. En utjämnning av skillnaden motsvaras av att temperaturen på bergrumssidan korrigeras uppåt med 1,1-1,3°C. Motsvarande effekt blir det om temperaturen på fjärrvärmesidan skulle ha visat för mycket.

Efter utvärderingarna då misstankarna om ett möjligt mätfel uppstod, har mätutrustningen kontrollerats. Pt100 givarna på fjärrvärmesidan är monterade med direktkontakt mot vattnet. Pt 100 givarna på bergrumssidan är monterade i dykrör vilket innebär att det var en luftficka mellan dykrör och känselkroppen/Pt 100 givaren. Detta kan möjligen ha givit en differens mellan avläst och verkets temperatur. Vi hällde därför i olja vilket gjorde att mätvärdet steg. Vi kunde dock ej kontrollera hur mycket eftersom det var en viss variation i temperaturen i vattnet under drift. Mätfelet och möjligheten att plattorna blir belagda med olja kan förklara skillnaden i uppmätt värmeöverföring vid in- resp urladdning.

Värmeöverföringen har beräknats för de tillfällen som driftsdata finns journalförda. Även om mätetalet i sig kan vara osäkert med tanke på mättekniken, kan möjligen en jämförelse mellan värmeöverföringstalen ge en indikation på om en försmutsning av värmeväxlaren kan ha inträffat. Värmeöverföringen som funktion av tiden visas i diagram 1.

Värmeöverföring MW/°C



\* Dykrören för Pt100 på bergrumssidan fylldes med olja.

Diagram 1. Beräknad värmeöverföring 1989 - 1992.

Under 1989 och 1990 finns ingen antydning till försämrade värmeöverföring. Efter påfyllningen av olja i dykrören för Pt-100 givarna, ändrades den uppmätta värmeöverföringen. Från mitten av 1991 och framåt tenderar värmeöverföringen att försämrats.

I bergrumskretsen finns en sil monterad innan vattnet leds in till plattvärmeväxlaren. Denna sil inspekteras för att om möjligt kunna upptäcka om det finns tendenser till inkrusterbildning. Under 1992 har en beläggning på silen observerats för första gången. Beläggningen var relativt mjuk till konsistensen och svart. Beläggningen har analyserats vid SSAB, tabell 2.

Tabell 2. Analys av beläggning på sil i bergrumskretsen.

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Glödförlust
2,5	7,2	0,86	0,91	53,2	0,82	1,9	0,26	30,9

Värdena anger vikts % av TS. Det är ej analyserat i vilken form exempelvis Fe föreligger, utan bara mängden Fe. Den är sedan angiven i formen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Andelen oorganiskt material i beläggningen var ca 70 %. Innehållsmässigt dominerar Fe. Ca-halten var betydligt lägre vilket inte tyder på någon utfällning av CaCO<sub>3</sub>.

Överförda värmemängder via värmeväxlaren skulle fortlöpande kunna beräknas och presenteras. Mätdata för flöden och temperaturer skulle loggas och sedan tas omhand i ett beräkningsprogram. Detta förutsätter flödes- och temperaturmätning med mycket hög noggrannhet. Detta kunde vara av stort värde för att tidigt upptäcka försämrings eller början till inkrusterbildning p g a saltutfällning. Det kunde också användas för att

snabbt göra bedömningar av förändringar i körsätt, vilket är betydelsefullt för att kunna nyttja värmeväxlaren optimalt.

## **5.2. B2 uppföljning av lagringsvattnets kvalitet**

### **5.2.1 Analys av olja**

En sanering av kvarvarande olja i bergrummet innan uppfyllningen, bedömdes som mycket svårgenomförbart ur arbetsmiljösynpunkt. Dels var temperaturen hög i bergrummet och så fanns risken för nedfallande berg. Kostnaderna för en sanering beräknades bli alltför stora. Förutsättningen var därför att om projektet skulle kunna genomföras skulle det ske utan att bergrummet först sanerades. En viss mängd ytolja uppskattningsvis 100 m<sup>3</sup> samt en okänd mängd bottenolja (asfaltkonsistens) skulle finnas kvar i bergrummet. Frågan var hur den skulle bete sig och eventuellt komma att påverka värmeöverföringen.

Bergrummet fylldes med industrivatten från SSAB. Industrivattnet leddes i ett provisoriskt rörsystem via det avhärdningsfilter (jonbytare) som installerades i samband med konverteringen.

Efter uppfyllning och uppvärmning togs prover ut från ytan via en inspektionslucka ovanför bergrummet. Ett ca 1 dm tjockt oljeskikt konstaterades. Ca två år senare kunde något oljeskikt ej längre noteras. En förklaring till detta är att lättflyktiga komponenter i oljan avdunstat med tiden. Densiteten på oljan kan därmed ha ökat så att den sjunker till botten. Stora mängder olja kan trots allt finnas kvar på ytan om den klumpat ihop sig till "flak" som flyter omkring. Dessa kan ha missats vid inspektionen eftersom det bara är möjligt att ta ut ytprov från en punkt i bergrummet.

I och med uppfyllningen av bergrummet har prover tagits ut från olika nivåer ett par gånger per år för analys av följande parametrar: Konduktivitet, pH, Ca, Mg, Fe, Mn, SO<sub>4</sub>, Cl<sup>-</sup>, suspenderade ämnen (SÄ) och olja. Analysresultaten visas i form av tabeller i bilaga 1.

Oljehalterna i bergrumsvattnet på olika nivåer visas för ett provtagningstillfälle per år under 1988-1992, tabell 3.

Tabell 3. Analys av olja i bergrumsvattnet

Prov	Nivå	1988	1989	1990	1991	1992
		29/9	19/10	16/8	6/6	2/4
	m	Olja mg/l	Olja mg/l	Olja mg/l	Olja mg/l	Olja mg/l
B	19,5					1,5
C	16,5		1,3	1,5	0,9	0,7
D	8,4	0,6	1,2	1,3	0,8	0,4
E	4,1	0,3	1,0	1,5	1,0	0,3
F	0	0,3	0,9	0,7	0,6	
Läckvatten	-0,9	0,2		0,5		<0,2

Av oljeanalyserna framgår att halterna är relativt låga 0,5-1,5 mg/l. Oljehalten i bergrumsvattnet ökar med stigande temperatur d v s oljehalten är högre i den övre delen i bergrummet. Halterna har ej förändrats nämnvärt med tiden.

### 5.2.2 Analys av salter i bergrumsvattnet

En jämförelse mellan halterna av ämnen i industrivattnet vid uppfyllningen av bergrummet och nuvarande halter i bergrummet visas i tabell 3.

Tabell 3. Analyser av joner i bergrumsvattnet

Prov	Ca	Mg	Cl-
	mg/l	mg/l	mg/l
Industrivatten 1988	18	7,0	
Industrivatten efter avhärtningsfiltret 1988	<1,0	<0,2	
Genomsnittlig halt i bergrumsvattnet hösten 1992	62	63	1200

Avhärtningsfiltret fungerade bra under uppfyllningen av bergrummet.

Halterna av joner i bergrumsvattnet har ökat påtagligt jämfört med de ursprungliga halterna. Halterna är nu på en nivå som är ungefär hälften av halterna i havsvattnet. Hur halterna har ökat visas i diagram 2 där halterna av kalcium på olika nivåer anges som funktion av tiden.

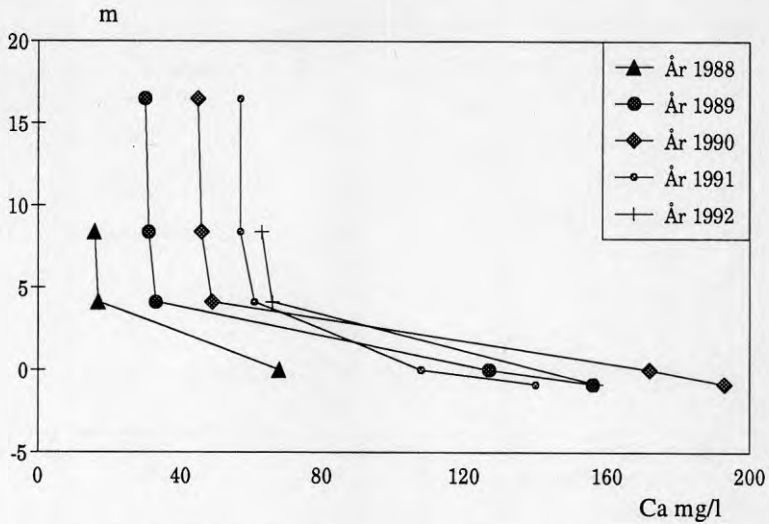


Diagram 2. Ca-halterna på olika nivåer i energilagret 1988-1992.

Kalciumhalten har ökat med ca 15 mg/l per år. Under det senaste året har det dock varit en lägre ökningstakt.

Från försöken med jonurlakning i laboratorieskala visades att halterna ökade snabbt i början för att sedan redan efter någon vecka ha stabiliserats. Därför tolkas orsaken till de ökade salthalterna i bergrumsvattnet huvudsakligen bero på inläckage.

Havsvatten och läckvatten från energilagret och intilliggande berggrum har analyserats, tabell 4.



Tabell 4. Analys av havsvatten och läckvatten 901011.

		1*	2*	3*	4*
pH		7,8	7,6	7,0	7,7
Ca	mg/l	108	179	99	194
Mg	mg/l	228	103	49	133
Fe	mg/l	0,4	0,4	0,3	0,5
Mn	mg/l	<0,2	0,7	1,0	0,8
Cl <sup>-</sup>	mg/l	3300	2040	790	2300
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	87	170	330	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	460	270	110	290
Susp.ämnen	mg/l	9	9	8	7

\* Prov 1 Havsvatten

2 Pumprum 2. Representativt för inläckande vatten till C7.

3 Läckvatten C6. Intilliggande oljebergrum

4 Läckvatten C7 konverterat oljebergrum.

Vattennivån i energilagret är lägre än grundvattennivån, vilket gör att det är ett kontinuerligt inläckage. Nivån i oljebergrum C6 är i sin tur lägre vilket gör att det också är ett utläckage från energilagret till C6. Innan bergrum C7 började att fyllas, uppmättes ett inläckage på 6,4 m<sup>3</sup>/h. När bergrummet fylldes minskade inläckaget. Hur stort inläckaget och utläckaget är kan man ej mäta. Däremot kan det beräknas genom att ökningstakten för salter i lagringsvattnet relateras till uppskattade halter i inläckande vatten. En sådan beräkning visar på ett inläckage av 2-2,5 m<sup>3</sup>/h.

Nettoutläckaget, den volym som måste fyllas på för att nivån i bergrummet ska upprätthållas, var under 1992 knappt 1 m<sup>3</sup>/h eller 7500 m<sup>3</sup>/år. Flödet utifrån bergrummet via läckvattengropen är ca 0,5 m<sup>3</sup>/h. Vid påfyllning tas vatten från det kommunala ledningsnätet. Maximalt flöde är ca 3-4 m<sup>3</sup>/h. Vattnet leds via avhärdningsfiltret innan det fylls på. Möjligheterna att återigen leda fram industrivatten från SSAB undersöks för närvarande. Det skulle möjliggöra ett större flöde och kostnaden för vattnet skulle också kunna bli lägre.

### 5.2.3 Reduktion av saltupphyggnad i lagringsvattnet

En ökande salthalt/hårdhet i lagringsvattnet gör att den gräns kan komma att passeras vid vilken utfällningar/inkrusterbildning i rörsystem och värmväxlare uppstår. Vid höga halter av kalcium kan utfällning av kalciumkarbonat, kalksten uppkomma. Om en inkrusterbildning uppstår påverkas värmeöverföringen negativt, och dessutom kan den orsaka skador i pumpar och ventiler. Beläggningen är dessutom svår att avlägsna.



Höga salthalter kan också orsaka korrosion i rörsystemet. Med tanke på detta valdes titan i värmeväxlare och rörsystem och dessutom installerades katodskydd.

Koncentrationerna i bergrumsvattnet av de ämnen som kan förorsaka inkrusterbildning är mycket höga. Enligt värmetekniker vid SSAB har redan den kritiska gräns passerats vid vilken inkrusterbildning kan börja att uppstå. Ursprungligen installerades avhärdningsfiltret för att också en delström av bergrumskretsen skulle kunna behandlas. Denna möjlighet har ej utnyttjats därför att kapaciteten varit oväntat låg, vilket skulle inneburi orimligt tät regenereringsfrekvens. Man har därför undersökt möjligheterna att förbättra avhärdningsförl eller att använda andra metoder för att minska risken för inkrusterbildning i bergrumskretsen.

### **Avhärdningsfilter**

Avhärdningsfiltret installerades så att en delström av vattnet i bergrumskretsen skulle kunna avhärddas under drift. Filtret skulle också användas för att avhärda vattnet som tillförs bergrummet.

Filtret är fyllt med ca 3 m<sup>3</sup> jonbytarmassa. Kapaciteten är ca 30 m<sup>3</sup>/h. När jonbytarmassan tar upp Ca, Mg avges samtidigt Na-joner. Den mättade jonbytarmassan regenereras med stensalt, NaCl, vid en hög koncentration 200 mg/l. 450 kg salt åtgår per regenerering.

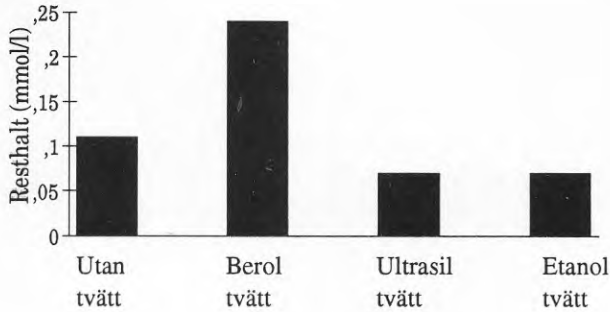
Avhärdningsfiltrets låga kapacitet vid behandling av bergrumsvattnet tror man orsakas av oljan i vattnet. Trots låga oljehalter misstänks oljan kunna orsaka en beläggning av ytorna på den polymera sorbenten. För att försöka fastlägga orsaken till den låga kapaciteten och möjligheter att förbättra avhärdningsfiltret utfördes försök i laboratorieskala vid IVL.

För laboratorieförsöken togs 5 l jonbytarmassa ut från avhärdningsfiltret och 150 l bergrumsvatten från nivå F i bergrummet. I jonbytarmassan kunde enstaka små oljeklumpar observeras. Halterna Ca och Mg i bergrumsvattenprovet var 93 respektive 48 mg/l vilket sammanslaget ger hårdheten 4,3 mmol/l.

### **Försök 1 Tvätt av jonbytarmassan**

Tre olika tvättkemikalier prövades vid rengöringsförsöken med jonbytarmassan. Efter tvättning uppmättes jonbytarens (JB) kapacitet genom kolonnförsök där hårdheten i det behandlade vattnet mättes. Kapaciteterna för tvättad JB jämfördes med kapaciteten för otvättad. Tvättkemikalierna var tensidlösning från Berol, alkalisk tvättkemikalie P3 Ultrasil-11 från Henkel och etanol.

Resultatet visas i figur 4.

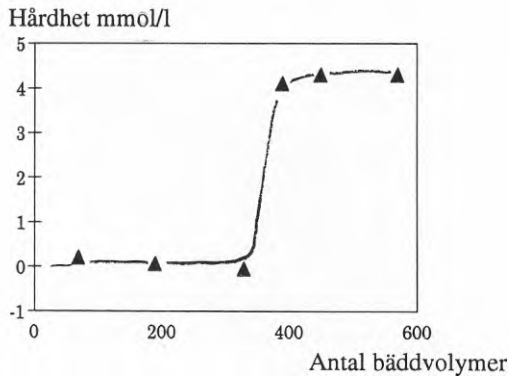


Figur 4. Resthalt i samlingsprov omfattande 100 bäddvolymmer bergsumsvatten. Ingående halt är 4,3 mmol/l vilket innebär att staplarna representerar 94,4 -98,3 % avhårdning.

Tvätt av JB med Ultrasil och etanol gav en positiv effekt medan Berol gav en negativ effekt. Effekten av tvättning visade ej på någon påtaglig förbättring. Detta kan förklaras av att JB var svår att rengöra, eller också var kapaciteten för JB i nivå med vad den ska vara.

### Försök 2 Kapacitetsbestämning

Behandling av bergsumsvattnet utfördes i en kolonn med 9 ml jonbytarmassa, flöde 20 BV/h och temperaturen 45°C. Resultatet visas i figur 5.



Figur 5. Koncentrationen hårdhet uttryckt i mmol/l avsatt mot antalet renade bäddvolymmer.

Resultatet visar att kapaciteten för JB räcker för att behandla ca 340 bäddvolym. Därefter sker ett genombrott för Ca och Mg. Restkoncentrationerna i det avhårdade vattnet var före genombrott ca 0,1 mmol/l.

Jonbytar massans kapacitet har beräknats enligt följande:

Behandlad volym	$340 \text{ BV} \times 9 \text{ ml} = 3,1 \text{ l}$
Mängd Ca + Mg	$3,1 \times 4,3 \text{ mmol} = 13,3 \text{ mmol}$
Resthalt	$3,1 \times 0,1 \text{ mmol} = 0,31 \text{ mmol}$
Uptag för JB	$13,3 - 0,3 = 13 \text{ mmol} = 26 \text{ mekv}$
Kapacitet	$26/9 \text{ ml} = 2,9 \text{ mekv/ml JB}$

En total kapacitet av 2,9 mekv/ml JB får anses som mycket bra.

### Fullskaleförsök

Under mars 1991 utfördes 2 st försök på befintligt avhärtningsfilter i bergrummet. Genombrottskurvorna för Ca och Mg är flackare än vad som uppmättes vid laboratorieförsöken. Beräknas upptagen mängd Ca + Mg ur kurvorna ger det en kapacitet av ca 350 respektive 400 m<sup>3</sup> vilket motsvarar en kapacitet av 120-130 bäddvolym. I praktiken innebär det att avhärtningsfiltrets kapacitet ger ca 1 dygns drifttid innan det behöver regenereras.

Antalet erforderliga avhärtningscykler per år kan beräknas genom att jämföra kapaciteten med tillförda mängder av Ca och Mg per år. Beräkningen visar att det behövs ca 60 avhärtningscykler per år för att hålla hårdheten på oförändrad nivå. Med tanke på de höga halterna i bergrumsvattnet skulle dock antalet cykler behöva vara minst det dubbla för att denna halt skulle kunna minskas.

Antalet erforderliga avhärtningscykler kan också beräknas om filtrets kapacitet sätts till den enligt laboratorieförsöken beräknade. För att balansera den årliga tillförseln av Ca och Mg erfordras då endast ca 25 avhärtningscykler.

För att förbättra avhärtningsfiltrets funktion har man varit inne på att installera ett sandfilter som förfilter. Detta kommer säkerligen ej att ha någon effekt på oljehalterna i vattnet som tolkats som det största problemet. Däremot kan filtret avskilja oljeklumpar som uppenbarligen förekommer i bergrumsvattnet. Möjligen skulle ett aktivt kol filter vara ett tänkbart alternativ. Aktivt kol har förmågan att kunna adsorbera olja ur vatten.

Regenereringen av avhärtningsfiltret görs manuellt, vilket med tanke på det stora antalet cykler per år skulle innebära en mycket hög arbetskostnad. Kostnaderna för regenereringskemikalier blir också påtaglig.

### Dispergeringsmedel

Ett alternativ till avhärdning är att tillsätta ett specifikt dispergeringsmedel som höjer löslighetsgränsen för vattnets hårdhet vilket minskar risken för utfällning av exempelvis kalciumkarbonat.

Exempel på nyttjande är i oljebergrum i Värtan. Under oljan samlas inläckande vatten varifrån det pumpas till en oljeavskiljare. Kort efter idrifttagandet av oljelagret konstaterades kalkutfällningar i rörsystemet för vattnet. Hårdheten i vattnet var då 20-25°dH. Efter rengöring av rörsystemet påbörjades dosering av dispergeringsmedel. De har därefter ej haft problem med utfällningar i vattensystemet.

En förfrågan gick ut till några kemikalieleverantörer. Följande produkter offererades, tabell 5.

Tabell 5. Dispergeringsmedel

Leverantör	Beteckning	Kemikalie	Dosering
Nalco	Nalco 8501	Fosfon-alkyl-karbonsyra	2,5 g/m <sup>3</sup>
MITCO AB	MITCO LB-206	Neutraliserad maleinsyra copolymer	5-15 ml/m <sup>3</sup>
Lifab	LIFANOL 35	Polyakrylat	ca 15 g/m <sup>3</sup>

Dispergeringsmedlet rekommenderas att doseras in i cirkulerande vatten i bergrumskretsen till en tillräcklig halt erhålls i bergrumsvattnet. Därefter doseras kemikalien i proportion till den hårdhet som tillförs via inläckande vatten.

Orsaken till att man ej beslutat att använda dispergeringsmedel är osäkerheten om det är en riktig lösning på problemet med ökande hårdhet i vattnet. Dessutom innebär det en icke obetydlig kostnad för kemikalierna.

### Avtappning av bottenvatten

Hårdheten i lagringsvattnet kan också kontrolleras genom avtappning av bottenvatten innehållande höga salthalter. Volymen ersätts med kommunalt vatten eller industrivatten från SSAB. Ersättningsvattnet bör passera avhärdningsfiltret. För närvarande tillförs 7500 m<sup>3</sup>/år för att ersätta nettoutläckaget.

Genomsnittlig ökningstakt för Ca i bergrumsvattnet under 1988-1991 har varit ca 15 mg/l per år. Detta motsvarar en tillförsel av 2400 kg Ca/år. I vattenproverna från borrhål F, 0 m nivå, har Ca halterna varit >100 mg/l fr o m 1989 eller ca 4 ggr högre än på övriga nivåer. För att balansera tillförseln av Ca erfordras ett uttag av 24 000 m<sup>3</sup>/år vid Ca halten 100 mg/l. Förutom kostnaden för tillfört vatten åtgår energi för att värma

vattnet. Det är dessutom osäkert om denna volym kan tas ut med bibehållande av den höga koncentrationen. Det tillförda vattnet bör värmas och ledas in i den övre varma delen. Tillfördes vattnet kallt så borde det ledas in i botten för att temperaturen skulle kunna bibehållas. Då skulle bottenvattnets höga koncentrationer komma att utjämnas vilket försämrar möjligheterna att tappa av bottenvatten med hög saltkoncentration.

### **Membranfiltrering**

En annan teknik som diskuterats är membranfiltrering. Membranfiltrering innebär att man under tryck pressar vattnet genom ett semipermeabelt membran. Membranen indelas efter dess cut-off d v s avskiljningsförmåga. De tätaste membranerna benämns RO-membran (omvänd osmos). De har en avskiljningsförmåga för NaCl i vatten på 98-99 %. RO-tekniken används exempelvis för avsaltning av havsvatten och återvinning av metalljoner.

RO-membran är på samma sätt som värmeväxlare beroende av att hårdheten i vattnet ej är så hög att det finns risk för utfällningar. Membranerna kan då bli belagda, vilket leder till en låg kapacitet. Uttag av vatten för RO-behandling skulle därför troligen göras från den övre delen av bergrummet, där halterna är lägre än i bottenvattnet. Detta medför att en större volym skulle behöva behandlas än den som beräknats för bottenvattenavdrag i föregående exempel. Kostnaderna för behandling av bergrumsvattnet med RO blir avsevärt högre än för någon av de andra här nämnda möjligheterna att bemästra hårdheten i bergrumsvattnet.

### **5.3 B3 Värmeförluster**

Värmeförluster från energilager sker huvudsakligen via värmeledning genom bergväggarna och via utläckage av lagringsvattnet. Energibalanser har upprättats för att försöka beräkna värmeförlusterna.

Uppgifter om energimängder vid inladdningar respektive urladdningar journalförs av driftspersonalen. Dessutom registreras vattennivån och temperaturförhållanden på olika nivåer i bergrumsvattnet varje vecka. Utifrån dessa data har energibalanser upprättats för att få ett mått på värmeförlusterna från bergrumsvattnet. Beräkningar har gjorts för 1991 och 1992. I tabell 6 visas in- resp urladdade energimängder.

Tabell 6. Energimängder vid in- och urladdningar under 1991 och 1992.

Månad	1991		1992	
	Inladdning MWh	Urladdning MWh	Inladdning MWh	Urladdning MWh
1	0	548	324	16
2	0	251	97	103
3	0	83	142	161
4	30	109	248	56
5	888	0	456	114
6	1780	0	1775	0
7	516	0	1404	61
8	1406	0	850	0
9	166	26	771	358
10	192	134	1724	478
11	385	82	169	298
12	1017	78	-	-
Σ	6380	1316	7960	1645

Temperaturförhållandena i bergrummet i början och slutet av 1991 och 1992 visas i diagram 3.

Nivå bergrummet (m)

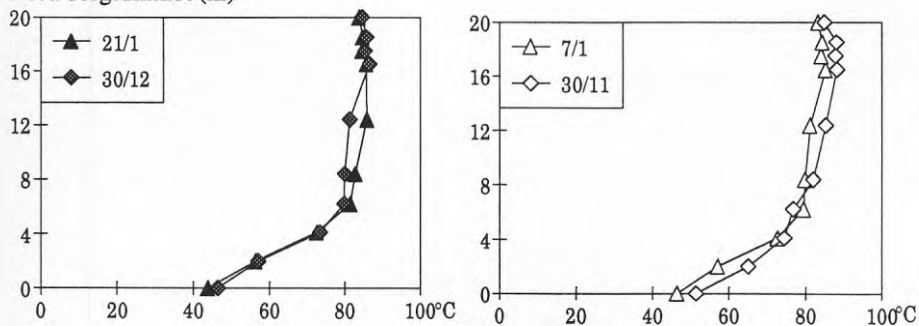


Diagram 3.

Medeltemperaturerna för 1991 var i början av året 78,3°C och mot slutet 77,3°C för 1992 var temperaturerna 76,6 respektive 79,6°C.

Utläckaget från bergrummet har beräknats till ca 3,5 m<sup>3</sup>/h. Vid energibalansberäkningarna har temperaturen på utläckaget satts till 70°C.



Utifrån beräknade energimängder har energiförbrukningen under 1991 och 1992 beräknats, tabell 7.

Tabell 7. Energibalansberäkningar för energilagret under 1991 och 1992

		1991	1992
Energimängd			
inladdning	MWh	6380	7960
urladdning	MWh	1320	1650
netto	MWh	+5060	+6310
Energimängd i bergrumsvattnet			
i början av året	MWh	14600	14300
i slutet av året	MWh	14400	14900
förändring	MWh	+200	-600
Energiförlust	MWh	5260	5710
Energiförlust	MWh/år	5260	6230
Beräknad energimängd			
i utläckage	MWh/år	2500	2500
Övriga energiförluster			
huvudsakligen till berget	MWh/år	2760	3730

Medelvärde för energiförlusterna under 1991 och 1992 var 5700 MWh/år. Mer än hälften har beräknats härröra från energiförluster till berget. Temperaturen i de övre delarna av vattenlagret har varit ca 85°. Man eftersträvar att höja temperaturnivån, vilket skulle möjliggöra ett ökat nyttjande. Detta skulle i så fall innebära att energiförlusterna skulle komma att bli ytterligare något högre.

I Lyckebo utanför Uppsala byggdes ett bergrum på 100 000 m<sup>3</sup> för värmelagring av energi från solfångare under början av 80-talet. Uppmätta värmeförluster visade sig vara betydligt större än vad man förväntat sig. I en undersökning gjord av Johan Claesson Markvärmegruppen, LTH redovisas ett antal tänkbara orsaker till de stora värmeförlusterna. Värmeförluster genom värmeledning i berget baserat på värmeledningsförmågan för mineralsammansättningen visade sig enbart kunna svara för en liten del av den faktiska värmeförlusten. Dessutom avklingade ej värmeförlusterna med tiden vilket borde varit fallet i och med att berget värmdes upp. Man kunde därför endast förklara värmeförlusterna med att det huvudsakligen var konvektiva värmeförluster, vilket beror på vattenströmmar i sprickor och håligheter. Till skillnad från bergrummet i



Oxelösund finns ej något intilliggande bergrum. Däremot finns det en tunnel som används vid bergrummets konstruktion. I den vattenfyllda tunnelns övre del uppmättes höga temperaturer, vilket man tolkat måste bero på egenkonvektion. För att försöka beräkna konvektivt vattenflöde ut från och tillbaka in i bergrummet gjordes en energibalans. Enligt denna beräkning skulle vattenflödet vara ca  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ . Detta är likvärdigt med det läckvattenflöde som beräknats för bergrummet i Oxelösund eftersom vattenvolymen i Lyckebo är ca  $2/3$  av den i Oxelösund.

## 6. Driftserfarenheter

Energilagret används nu på förutsatt sätt, energitekniskt, men har en del begränsningar bl a i effekt. En hel del modifieringar av processtyrningen har gjorts för att nå dit. En viktig parameter är hur fjärrvärmenätet används på bästa sätt. Förutom värmeväxlare för oljebergrummen och energilagret är det några ytterligare anslutna vilka alla har en direkt inverkan på temperaturerna i fjärrvärmenätet. Vid inladdning av energi eftersträvas en hög temperatur på vattnet in till värmeväxlaren och vid urladdning vill man istället ha en låg temperatur på vattnet in för att få en hög effekt. Dessutom inverkar variationerna i behov och tillgång på energi vilket gör regleringen av systemet komplicerat.

Avhärdningsfiltret har inte kunnat användas för behandlingen av bergrumsvattnet. Någon annan metod för att komma tillrätta med vattnets höga hårdhetsgrad har ännu inte beslutats om. Däremot har en viss avtappning av bottenvatten gjorts under 1992.

Nyttjandegraden för energilagret har varit låg. De senaste vintrarna har varit milda, vilket inneburit att behovet av extra energi från oljekörning i SSAB:s värmekraftverk OK2 eller från kommunens reservpannor för spetslast knappast erfordrats. Det var annars detta behov som energilagret skulle kunna utnyttjas för att tillgodoses

Andelen tillförd energi till värmelagret är stor i förhållande till urladdad energi. Tillförseln av energi kan dock ske utan någon egentlig uppoffring av producerad elkraft i OK2 vid SSAB. Av totalt levererad energimängd till Oxelösunds kommun under 1990 och 1991 svarade andelen från urladdningen av energilagret för 1,2 %. Under 1992 var andelen från energilagret 2,0 %.

## 7. Referenser

1. von Post, H. och Hägerstedt, L-E. IVL 1988. Värmelagring i oljeberggrum. Rapport till Statens Energiverk.
2. Margen, P. Margen Consult AB. (1990) Värmelager i konverterat oljeberggrum i Oxelösund: Bakgrund, principer, erfarenheter. Seminarium om termisk energilagring i berggrum.
3. Cederbaum, B. SSAB (1992) Energilager i konverterat oljeberggrum i Oxelösund. Sammanfattning av driftserfarenheter, ekonomi m m.
4. Claesson, J. Markvärmegruppen, LTH (1987). Några synpunkter och funderingar angående de oväntat höga värmeförlusterna för värmelagret i Lyckebo.

## Analys av bergrumsvatten

### Vattenprover 880929

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
D	8,4	7,1	17	8,2	97	46	0,6
E	4,1	7,1	17	9,0	113	48	0,3
F	0	7,3	67	40	436	102	0,3
Läckv.	-1						0,2

### Vattenprover 881005

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
D	8,4	7,1	20	10	115	48	0,2
E	4,1	7,1	17	9,1	110	48	0,3
F	0		7,4	80	50	508	110 0,2
Läckv.	-1						0,3

### Vattenprover 881020

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
D	8,4	7,5	16	8,6	103	45	0,5
E	4,1	7,6	17	8,5	107	48	0,5
F	0		7,9	68	40	416	98 0,4
Läckv.	-1						0,5

### Vattenprover 881026

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
D	8,4	7,2	19	10	107	53	0,3
E	4,1	7,2	19	11	110	52	0,4
F	0		7,4	77	49	441	110 0,3
Läckv.	-1						0,3

## Vattenprover 881108

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
D	8,4	7,0	18	10	108	52	0,5
E	4,1	7,0	19	11	113	53	<0,2
F	0		7,2	94	56	514	124 0,5
Läckv.	-1						<0,2

## Vattenprover

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
B	18,5	7,7	21	13	129	57	0,7
C	16,5	7,7	22	13	134	57	0,6
D	8,4	7,7	21	13	130	58	0,5
E	4,1	7,8	22	13	133	58	0,5
F	0	7,6	80	50	488	118	0,8
Läckv.	-1						0,5

## Vattenprover 891019

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
C	16,5	7,7	30	23	362	65	1,3
D	8,4	7,7	31	23	369	66	1,2
E	4,1	7,7	33	25	398	68	1,0
F	0		7,7	127	86	1490	170 0,9
Läckv.	-1		7,6	156	100	1740	190

## Vattenprover 900816

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Olja mg/l
C	16,5	7,7	45	28	720	79	1,5
D	8,4	7,6	46	28	710	79	1,3
E	4,1	7,5	49	28	760	84	1,5
F	0		7,3	172	68	2040	150 0,7
Läckv.	-1		7,4	193	84	2230	150 0,5

## Vattenprover 901011

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Susp mg/l	Olja
C	16,5	8,2	49	40	0,4	0,3	770	125	82	7	1,0
D	8,4	7,8	49	41	0,4	0,3	760	125	82	6	0,8
E	4,1	7,9	51	43	0,7	0,3	770	125	82	12	0,8
F	0	7,8	152	116	0,3	0,6	2000	270	149	<5	0,8
Läckv.	-1		7,7	194	133	0,5	0,8	2300	290	154	7

## Vattenprover 901011

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Susp mg/l	Olja
C	16,5	7,6	55	53	0,3	0,4	1110	136	89	6	0,9
D	8,4	7,5	56	54	<0,2	0,4	1090	136	88	6	0,8
E	4,1	7,4	57	54	<0,2	0,4	1220	143	87	<5	1,0
F	0	7,4	96	83	<0,2	0,6	2240	208	135	<5	0,6
Läckv.	-1	7,4	128	104	<0,2	0,7	2320	234	127	8	

## Vattenprover 911017

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Susp mg/l	Olja
C	16,5	7,7	57	46	<0,2	0,3	1050	129	79	<5	1,1
D	8,4	7,8	57	59	0,5	0,3	1100	140	89	<5	0,9
E	4,1	7,8	61	60	0,2	0,3	1160	143	95	<5	0,8
F	0	7,8	108	104	0,2	0,5	2230	200	140	<5	0,6
Läckv.	-1	7,7	140	114	0,2	0,6	2480	250	140	<5	

## Vattenprover 911205

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Susp mg/l	Olja
B	18,5	7,6	56	51	0,3	0,3	1130	136	93	<5	
C	16,5	7,6	57	53	0,2	0,3	1180	147	93	<5	
D	8,4	7,7	57	54	0,2	0,3	1230	147	93	<5	
E	4,1	7,6	58	54	0,2	0,3	1180	143	96	7	
Läckv.	-1	7,6	146	113	0,2	0,6	2550	265	142	<5	

## Vattenprover 920402

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Susp mg/l	Olja
B	18,5	7,6	62	61	0,6	0,3	1100	147	90	<5	1,5
C	16,5	7,8	61	60	0,2	0,3	1140	140	90	<5	0,7
D	8,4	7,7	63	65	0,2	0,4	1210	159	90	<5	0,4
E	4,1	7,5	66	68	<0,2	0,3	1270	161	94	<5	0,3
Läckv.	-1	7,6	157	123	<0,2	0,7	2580	279	140	<5	<0,2

## Vattenprov-1er 920820

Hål	Nivå m	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Susp mg/l	Olja
B	18,5	7,9	59	58	0,2	0,3	1200	154	93	<5	0,4
C	16,5	7,9	60	58	0,2	0,3	1260	154	94	<5	0,9
D	8,4	7,9	62	60	<0,2	0,3	1270	158	95	<5	0,5
Läckv.	-1	7,6	149	118	0,2	0,6	2730	279	135	<5	0,3









SSAB i Oxelösund levererar energi till Oxelösunds fjärrvärmenät. Periodvis finns det överskott av energi från stålverket. För att kunna ta till vara energiöverskottet har ett outnyttjat oljeberggrum konverterats till energilager. Rapporten redovisar en uppföljning av konverteringen. Energilagret är i funktion men har en del begränsningar i bl a effekt.